FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1964 1965

THÈSE

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

Georges Henri FEINTUCH
Ancien Externe des Hôpitaux de Paris
né le 12 avril 1935, à Paris 12è

Présentée et soutenue publiquement le 1965

ETUDE D'UN APPAREIL PORTATIF DESTINE A L'APPLICATION MEDICALE DES COURANTS DE MOYENNE FREQUENCE PULSES

Président : M. DJOURNO *Professeur*

EDITIONS A.G.E.M.P. - 8 RUE DANTE - PARIS V°

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1964

THÈSE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

Georges Henri FEINTUCH
Ancien Externe des Hôpitaux de Paris
né le 12 avril 1935, à Paris 12è

Présentée et soutenue publiquement le

ETUDE D'UN APPAREIL PORTATIF DESTINE A L'APPLICATION MEDICALE DES COURANTS DE MOYENNE FREQUENCE PULSES

Président : M. DJOURNO *Professeur*

EDITIONS A.G.E.M.P. - 8 RUE DANTE - PARIS V°

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

15-12-1963

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. Alajouanine (T.), Aubin (A.), Bénard (H.), Binet (L.), Bulliard (H.), Cadenat (F.), Cathala (J.), Chabrol (E.), Chailley-Bert (P.), Debré (R.), Fey (B.), Galliard (H.), Gaudart d'Allaines (F. de), Gennes (L. de), Halphen (E.), Hazard (R.), Heuyer (G.), Laroche (G.), Lavier (G.), Lelong (M.), Lévy-Solal (E.), Lian (C.), Mathieu (P.), Monod (R.), Moreau (R.), Moulonguet (P.), Mouquin (M.), Olivier (E.), Pasteur Vallery-Radot, Petit-Dutaillis (D.), Piédelièvre (R.), Quénu (J.), Richet (C.), Senèque (J.), Strohl (A.), Tanon (L.), Verne (J.).

DOYEN . . . . . Gaston CORDIER.

1er ASSESSEUR . . . . . Daniel BARGETON

2e ASSESSEUR . . . . . Paul CASTAIGNE

I. — PROFESSEURS

1° CHAIRES DE SCIENCES FONDAMENTALES

a) **Professeurs titulaires :**

	MM.
Anatomie	DELMAS (A.)
Anatomie pathologique	DELARUE (J.)
Anesthésiologie	BAUMANN (J.)
Biochimie médicale	JAYLE (M.-F.)
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports	MALMEJAC (J.)
Biologie médicale	FAUVERT (R.)
Biophysique médicale	BUGNARD (L.)
— —	DOGNON (A.)
— —	DJOURNO (A.)
Cancérologie médicale et sociale	BERNARD (J.)
Chimie pathologique	SCHAPIRA (G.)
Embryologie	TUCHMANN (H.)
Gérontologie expérimentale	N...
Histoire de la médecine et de la chirurgie	JOANNON (P.)
Histologie	GIROUD (A.)
Hygiène et médecine préventive	BOYER (J.)
Médecine du Travail	DESOILLE (H.)
Médecine légale	DEROBERT (L.)
Microbiologie (Bactériologie et virologie)	FASQUELLE (R.)
Parasitologie	BRUMPT (L.-C.)
Pathologie chirurgicale	LAURENCE (G.)
Pathologie exotique	N...
Pathologie expérimentale et comparée	MERKLEN (F.-P.)
Pathologie médicale	LAROCHE (Cl.)
— —	BRICAIRE (H.)
Pathologie respiratoire	TURIAF (J.)
Pathologie et thérapeutique générales	DEPARIS (M.)
Pharmacologie	CHEYMOL (J.)
Physiologie	BARGETON (D.)
—	PARROT (J.)
Physiologie et pathologie obstétricales	LEPAGE (F.)
Radiologie médicale	DESGREZ (H.)
Technique chirurgicale et Chirurgie expérimentale	CAUCHOIX (J.)
Thérapeutique	CONTE (M.)
Thérapeutique appliquée	LAMOTTE (M.)

b) **Professeurs à titre personnel :**

Anatomie anthropologique	OLIVIER (G.)
Biochimie médicale	DESGREZ (P.) / POLONOVSKI (J.)
Biologie médicale	BOURLIÈRE (F.)
Pharmacologie	LÉVY (Mlle J.)
Physiologie	DEJOURS (P.)
Physique médicale	KELLERSHOHN (L.) / GOUGEROT (L.)
Radiologie médicale	FISCHGOLD (H.)

2° CHAIRES DE SCIENCES CLINIQUES

a) Professeurs titulaires :

	MM.
Clinique carcinologique chirurgicale (Necker)	REDON (H.)
Clinique cardiologique (Broussais)	SOULIÉ (P.)
Cliniques chirurgicales — Beaujon	LORTAT-JACOB (J.-L.)
Cliniques chirurgicales — Cochin	LEGER (L.)
Cliniques chirurgicales — Hôtel-Dieu	PATEL (J.)
Cliniques chirurgicales — Pitié	CORDIER (G.)
Cliniques chirurgicales — Saint-Antoine	GOSSET (J.)
Cliniques chirurgicales — Salpêtrière	SICARD (A.)
Cliniques chirurgicales — Tenon	OLIVIER (Cl.)
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants-Malades)	FÈVRE (M.)
Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique (Cochin)	MERLE d'AUBIGNÉ (R.)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)	DUBOST (Ch.)
Clinique de chirurgie pleuro-pulmonaire (Laennec)	MATHEY (J.)
Clinique endocrinologique (Pitié)	DECOURT (J.)
Clinique de Génétique médicale (Enfants-Malades)	LAMY (M.)
Clinique gynécologique (Broca)	HUGUIER (J.)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (Saint-Louis)	DEGOS (R.)
Clinique des maladies des Enfants (Enfants-Malades)	TURPIN (R.)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard)	MOLLARET (P.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (Sainte-Anne)	DELAY (J.)
Clinique des maladies métaboliques (Necker)	HAMBURGER (J.)
Clinique des maladies du sang (Broussais)	MARCHAL (G.)
Clinique des maladies du système nerveux (Salpêtrière)	CASTAIGNE (P.)
Cliniques médicales — Broussais	MILLIEZ (P.)
Cliniques médicales — Broussais	LENÈGRE (J.)
Cliniques médicales — Cochin	BROUET (G.)
Cliniques médicales — Hôtel-Dieu	BARIÉTY (M.)
Cliniques médicales — Lariboisière	SÈZE (S. de)
Cliniques médicales — Pitié	DREYFUS (G.)
Cliniques médicales — Saint-Antoine	KOURILSKY (R.)
Cliniques médicales — Saint-Antoine	BOUDIN (G.)
Clinique d'hydrologie et de climatologie (Bichat)	DEBRAY (Ch.)
Clinique médicale infantile de pédiatrie sociale (Enfants-Malades)	MARIE (J.)
Clinique médicale propédeutique (Broussais)	JUSTIN-BESANÇON (L.)
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies de la nutrition (Hôtel-Dieu)	DEROT (M.)
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)	DAVID (M.)
Clinique neurologique (Salpêtrière)	GARCIN (R.)
Cliniques obstétricales — Baudelocque	LACOMME (M.)
Cliniques obstétricales — Foch (Suresnes)	MERGER (R.)
Clinique obstétricale et gynécologique (Port-Royal)	VARANGOT (J.)
Clinique ophtalmologique (Hôtel-Dieu)	RENARD (G.)
— — (Cochin)	OFFRET (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)	AUBRY (M.)
Clinique de pédiatrie et de puériculture (Saint-Vincent-de-Paul)	N...
Clinique de pneumo-phtisiologie (Laennec)	BERNARD (E.)
Clinique de neuro-psychiatrie infantile (Salpêtrière)	MICHAUX (L.)
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin)	COSTE (F.)
Clinique stomatologique (Salpêtrière)	DECHAUME (M.)
Clinique thérapeutique chirurgicale (Vaugirard)	ROUX (M.)
Clinique thérapeutique médicale (Saint-Antoine)	LEMAIRE (A.)
Clinique toxicologique	GAULTIER (M.)
Clinique urologique (Cochin)	ABOULKER (P.)
Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique	PADOVANI (P.)
Séméiologie médicale	DOMART (A.)
Séméiologie et clinique chirurgicales	POILLEUX (F.)
Séméiologie traumatique et orthopédique	JUDET (R.)
Clinique urologique (Necker)	COUVELAIRE (R.)
Hygiène et clinique de la première enfance (Trousseau)	N...

b) Professeurs à titre personnel :

Hydrologie et climatologie	GIBERTON (A.)
Maladies infectieuses	BASTIN (R.)
Médecine	AZERAD (E.)
Médecine	BOUR (H.)
Médecine	LAMBLING (A.)
Médecine	LHERMITTE (F.)
Médecine	PEQUIGNOT (H.)
Médecine	PERRAULT (M.)
Médecine	SIGUIER (F.)
Médecine	WORMS (R.)
Oto-Rhino-Laryngologie	MADURO (R.)
Pneumo-Phtisiologie	KREIS (B.)
Rhumatologie	DELBARRE (F.)

	MM.
Pathologie chirurgicale	BARCAT (J.) BINET (J.-P.) BLONDEAU (Ph.) CERBONNET (G.) CHATELIN (C.-L.) DAUTRY (P.) DEMIRLEAU DUBOST (Cl.) FAUREL (J.) FLABEAU (F.) GALEY (J.-J.) GARBAY (M.) GARNIER (H.) GAUDART-d'ALLAINES (Cl. de) GERMAIN (A.) LATASTE (J.) LOYGUE (J.) MAILLARD (J.-N.) MERCADIER (M.) NATALI (J.) PELLERIN (D.) PERROTIN (J.) PREMONT (M.) ROBERT (H.) THOMERET (G.) VAYSSE (J.)
Pathologie exotique	SCHNEIDER (J.)
Pathologie expérimentale	BERTHAUX (P.) COTTENOT (Fr.) LŒPER (J.) Pr. s. ch. MAURICE (J.) MIKOL (Cl.) PAUPE (J.-R.)
Pathologie médicale	ACAR (J.) AUQUIER (L.) AUSSANNAIRE (M.) BEAUMONT (J.-L.) BERNIER (J.-J.) BOUVIER (J.) BOUVRAIN (Y.) BRISSAUD (H.) BROCARD (H.) BUGE (A.) CANIVET (J.) CARLOTTI (J.) CATINAT (J.) CHRÉTIEN (J.) CLOAREC (M.) COBLENTZ (B.) CONTAMIN (F.) COURY (C.) DEBRAY (J.) ÉTIENNE (J.-P.) FREZAL (J.) FRITEL (D.) FUNCK-BRENTANO (J.-L.) GRIVAUX (M.) HAZARD (J.) HENNEQUET (A.) HIMBERT (J.) HOUSSET (E.) LAGRUE (G.) LESOBRE (R.) LEVEQUE (B.) MACREZ (C.) MOREAU (L.) NENNA (A.) NICK (J.) POULET (J.) ROYER (P.) TCHERDAKOFF (Ph.) THIBAULT (Ph.) TOURNEUR (R.) VILLIAUMEY (J.) WOLFROMM (R.)

	MM.
Pédiatrie-Puériculture	ALAGILLE (D.) ALISON (J.) CANLORBE (P.) GORIN (R.) LAFOURCADE (J.) LEPERCQ (G.) LESTRADET (H.) MALLET (R.) MANDE (R.) MINKOWSKY (A.) MOZZICONACCI (P.) POLONOVSKI (C.) REY (J.) RIBIERRE (M.) ROSSIER (A.) VIALATTE (J.)
Pharmacologie	BOISSIER (J.) LECHAT (P.)
Physiologie	BARRES (G.) DURAND (J.) GIRARD (Fr.) m. conf. HUGELIN (A.) LAURENT (D.) SCHERRER (J.) pr. s. ch. VASSEUR (B.)
Physique médicale	CHANTEUR (J.) COURSAGET (J.) GREMY (F.) m. conf. MILHAUD (G.) PAGÈS (J.-Cl.) PELLERIN (P.) ROUCAYROL (J.-C. pr. s. ch. TUBIANA (M.) m. conf.
Pneumo phtisiologie	DECROIX (G.) ISRAEL (L.) MEYER (A.) RENAULT (P.) SORS (Ch.)
Psychiatrie infantile	DENIKER (P.) DUCHE (D.) FLAVIGNY (H.)
Radiologie médicale	DUBOST (J.) LEFEBVRE (J.) MICHEL (J.-R.)
Rhumatologie	MASSIAS (P.)
Stomatologie	CAUHEPE (J.) CERNEA (P.) CHAPUT (Mme A.) m. c. agr. CREPY (Cl.) FLEURY (R.) GRELLET (M.)
Thérapeutique	CHASSAGNE (P.) FOUET (P.) LABET (R.) MARCHE (J.)
Urologie	AUVERT (J.) MOULONGUET (A.) QUENU (L.)

II. -- PROFESSEURS SANS CHAIRE, PROFESSEURS AGRÉGÉS ET MAITRES DE CONFÉRENCES - AGRÉGÉS

	MM.
Anatomie	CABROL (C.) COUINAUD (C.) GILLOT (C.) HUREAU (J.)
Anatomie pathologique	GAUTHIER-VILLARS (Mlle P.) pr. s. ch. ABELANET (R.) CHOMETTE (G.) GOUYGOU (Ch.), pr. s. ch. NEZELOFF (Ch.) ORCEL (L.) PAILLAS (J.)
Anesthésiologie	N. du BOUCHET (Mme) KERN (E.) VOURC'H (G.)
Bactériologie	BARBIER (P.) pr. s. ch. CHRISTOL (D.) DAGUET (G.) LE MINOR (L.) TOURNIER (P.)
Biochimie médicale	BAULIEU Et. m. conf. BOURILLON (R.) CARTIER (P.) pr. s. ch. CORNILLOT (P.) DREYFUS (J.-Cl.) GONNARD (P.) JEROME (H.) KRUH (J.) LEGRAND (J.-Cl.) NORDMANN (J.)
Biologie appliquée à l'Education Physique et aux Sports	PLAS (F.)
Biologie médicale	BENHAMOU (J.-P.) BOIVIN (P.) HARTMANN (L.) pr. s. ch.
Carcinologie	BOIRON (M.) DENOIX (P.) MATHE (G.) SELIGMANN (M.)
Cardiologie	HATT (P.-Y.)
Dermato-Syphiligraphie	CIVATTE (J.) DUPERRAT (B.) HEWITT (J.) TOURAINE (R.)
Electro-Radiologie	HEITZ (F.) m. conf. LEDOUX-LEBARD (G.)
Embryologie	ROUX (Ch.)
Hématologie	BESSIS (M.) BILSKI-PASQUIER (G.) DAUSSET (J.) DUHAMEL (G.)
Histologie	COUJARD (R.), pr. s. ch. DA LAGE MAROIS (M.) RACADOT (J.) SCHRAMM (B.)

	MM.
Hydrologie	BESANÇON (F.) CORNET (A.)
Hygiène	BLANCHER (G.) CORRE-HURST (Mme L.) ROUSSEL (A.) SAPIN-JALOUSTRE (H.)
Maladies infectieuses	DUPONT (V.) LISSAC (J.) RAPIN (M.)
Maladies métaboliques	ANTOINE (B.) CROSNIER (J.) RICHET (G.) SEBAOUN (J.)
Médecine légale	BOURGUIGNON (A.) FOURNIER (E.) GUENIOT (M.) HADENGUE (A.)
Médecine du travail	ALBAHARY (C.)
Neuro-chirurgie	PERTUISET (B.)
Neuro-Psychiatrie	CAMBIER (J.) CATHALA (H.) ESCOUROLLE (R.) GAUTIER (J.-Cl.) LAPRESLE (J.) LEREBOULLET (J.) PICHOT (P.) TARDIEU (G.)
Obstétrique	GRANJON (A.) HERVET (E.) LE LORIER (G.) LEVY (J.) LEWIN (D.) MUSSET (R.) ROBEY (M.) SENEZE (J.) SUREAU (C.) TCHOBROUTSKY (Mme C.) THOYER-ROZAT (J.)
Ophtalmologie	AUVERT (Mme B.) BRÉGEAT (P.) DUBOIS (A.) FONTAINE (Mme M.) SARAUX (H.)
Orthopédie	DUPARC (J.) MAURER (P.) MEARY (R.) POSTEL (M.) RAMADIER (J.)
Oto-rhino-Laryngologie	DEBAIN (J.) PIALOUX (P.) SERGENT (H.)
Parasitologie	GOLVAN (Y.) HO THI SANG (Mlle) LAPIERRE (J.)

III. — PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE à titre permanent.

	MM.
Anatomie	DEBEYRE (J.)
Clinique chirurgicale	VERNE (J.-M.)
Clinique médicale	RAMBERT (P.) THIEFFRY (S.)
Clinique obstétricale	GRASSET (J.) MAYER (M.) MORIN (P.)
Clinique ophtalmologique	DESVIGNES (P.)
Clinique pédiatrique et puériculture	LAPLANE (R.)
Clinique psychiatrique	BARUK (H.)
Clinique urologique	KUSS (R.)

IV. — PROFESSEURS DÉTACHÉS DANS LES UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES

Bactériologie . . . . . HAUDUROY (P.) Pr. s. ch.
Pathologie chirurgicale . . . . . RUDLER (J.) Pr. s. ch.

V. - CHARGÉS DE COURS D'HYGIÈNE SCOLAIRE ET UNIVERSITAIRE : BOLTANSKI (E.), LAUNAY (C.)

Secrétaire général de la Faculté . . . . . M. LENA (J.)
Conseiller administratif . . . . . Mlle CHAINTREUIL (G.)
Conservateur en Chef de la Bibliothèque . Conservateur du Musée d'Histoire de la Médecine . . . . . M. le Docteur HAHN (A.)
Conservateurs . . . . . Mlles DUMAITRE (P.), LE NOIR (G.), QUIÉVREUX (E.)
Bibliothécaires . . . . . Mmes CONTET (J.), FORGET (F.), Mlle LAURENT (H.), Dr SCHILLER (J.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544307_0067

A mes Parents,

A ma Femme,

A mes deux Filles dont la sagesse m'a permis de travailler.

A Monsieur le Professeur A. DJOURNO

qui nous a fait le très grand honneur d'accepter la présidence de cette thèse.

En hommages respectueux.

A mes Maftres d'Externat

Monsieur le Docteur GUEULETTE,

Monsieur le Professeur THIEFFRY,

Monsieur le Docteur SERINGE,

Monsieur le Professeur MILHIEZ,

Monsieur le Docteur FRITTEL,

Monsieur le Professeur LAMY,

Monsieur le Docteur BACH

A mes Maîtres d'Internat,

Monsieur le Docteur TUPIN, Meaux

Monsieur le Docteur DURAND, Pontoise

INTRODUCTION

Nous avons tout d'abord analysé les travaux antérieurs en insistant sur certaines lois fondamentales d'électro-physiologie que nous rappelons d'une façon succincte.

Nous soulignerons ensuite les modalités de production des courants de moyenne fréquence pulsés et leurs propriétés.

Enfin, nous analyserons en détails les caractères d'un appareil portatif produisant de tels courants, appareil destiné à d'éventuelles utilisations thérapeutiques.

oOo

PREMIERE PARTIE

COURANTS
DE
MOYENNE FREQUENCE EN BIOLOGIE

oOo

Les expériences d'excitation neuro-musculaire par le courant électrique ont montré très tôt l'importance du facteur temps : il y a en effet impossibilité d'excitation d'une préparation par un courant d'intensité constante.

HISTORIQUE

Rappelons rapidement les différentes étapes qui conduisirent aux connaissances actuelles d'électrophysiologie :

- 1848 - DU BOIS-REYMOND : montre la possibilité d'exciter une préparation lors de l'ouverture ou de la fermeture d'un circuit parcouru par un courant continu : la valeur de l'excitation est fonction de la variation de l'intensité du courant par rapport au temps (en termes mathématiques, dérivée de l'intensité du courant par rapport au temps).

- 1863 FICK, et en

- 1870 ENGELMAN : montrent la limite temporelle de la loi de DU BOIS-REYMOND. Il faut également tenir compte du temps de passage, c'est-à-dire de la quantité d'électricité débitée.

- 1892 HOORWEG : constate que les décharges de deux condensateurs de capacités inégales, primitivement au même potentiel sont d'autant plus efficaces que la capacité est grande : ce qui est contraire à la loi de DU BOIS-REYMOND ("la constante de temps" d'un condensateur étant inversement proportionnelle à la capacité)mais ce qui montre l'influence du facteur "quantité d'électricité .

  Il établit la loi : $V = aR + \frac{b}{C}$

V = potentiel de charge liminaire,

R = résistance totale du circuit,

C = capacité du condensateur,

a et b = constantes.

- 1901 - WEISS : étudie l'influence du temps de passage du courant sur l'excitation d'un muscle rapide à l'aide de son rhéotome balistique. Il établit la loi :

$$Q = a + bt$$

Q = quantité liminaire de courant,

t = temps de passage du courant,

a et b = constantes.

- LAPICQUE : précise, à partir de la loi de WEISS, les notions suivantes (figure 1) :

  - Intensité rhéobasique ou rhéobase I : c'est l'intensité minimum d'un courant pour la création des excitations, le temps de passage du courant étant grand.

  - Temps utile : c'est le temps minimum pendant lequel le courant doit passer pour créer l'excitation, le courant ayant une intensité $I \geq I_o$. Le courant qui traverse ensuite la préparation est inutile pour l'excitation.

  - Chronaxie : c'est le "temps utile" correspondant à un courant d'intensité 2 I_o.

  - Temps de sommation : LAPICQUE découvre l'existence de systèmes "itératifs", qui ne peuvent être excités que par des stimuli-répétitifs. Il met en évidence que le voltage liminaire est :

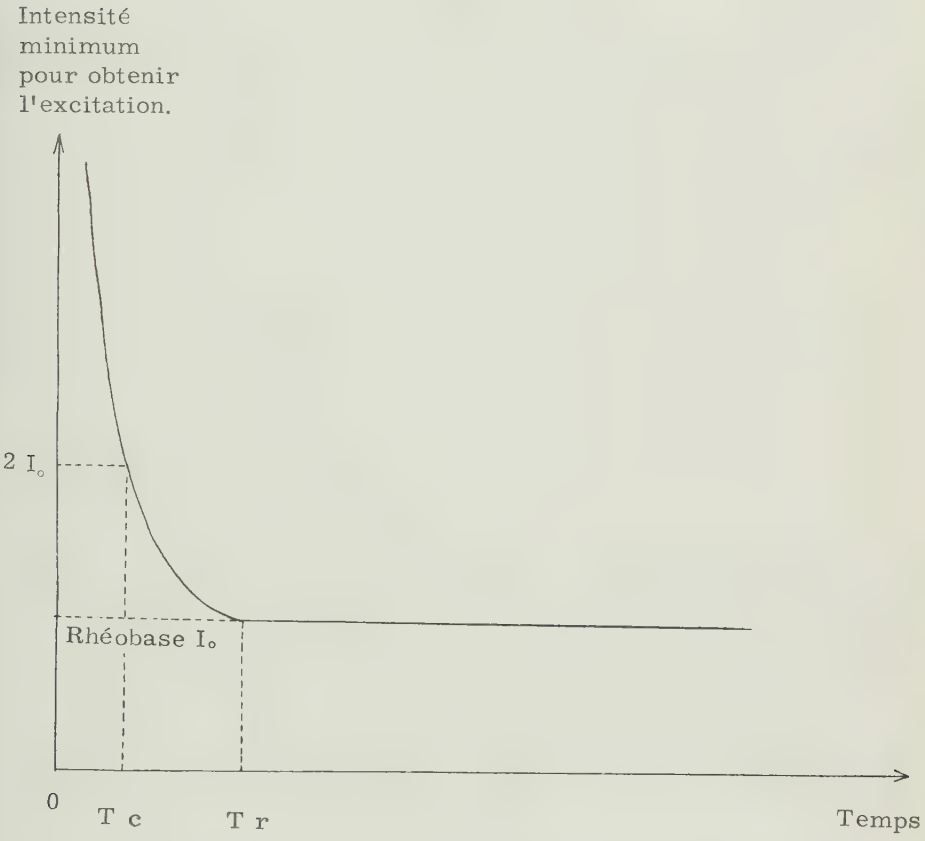
    . fonction croissante du temps séparant deux excitations consécutives (c'est-à-dire décroissante de la fréquence des excitations).

    . fonction décroissante de la capacité se déchargeant dans la préparation (comme pour une excitation unique).

    . fonction décroissante du nombre des excitations.

  Ce voltage liminaire ne s'abaisse plus en réalité en dessous d'une certaine limite V_o, fonction de la fréquence et du nombre des excitations. Mais pour V_o donné, le nombre égal au produit "nombre d'excitations x intervalle de temps séparant 2 excitations" reste constant; il représente le temps pendant

Figure 1



T $_r$: temps utile correspondant à la rhéobase I_o.

T $_c$: chronaxie (temps utile correspondant à 2 I_o).

lequel les excitations peuvent s'additionner efficacement, aussi, l'appelle-t-on "temps de sommation".

- ETUDE DE LA REPONSE ELECTRIQUE DU NERF AUX STIMULATIONS

Elle vient renforcer ces deux notions de temps utile et de temps de sommation.

On sait que la réponse pour une fibre comprend trois phases essentielles (figure 2).

- une phase de prépotentiel,
- une phase de potentiel d'action propagé, très variable suivant l'animal.
- une phase de post-potentiel d'abord négatif, puis positif.

Le prépotentiel correspond à une phase de sommation.

Le spike correspond à une phase réfractaire absolue.

Le post-potentiel correspond à une phase réfractaire relative.

Si l'on admet que la réponse globale du nerf est la somme dans le temps des réponses des différentes fibres, si l'on admet durant la phase de sommation que des excitations brèves sub-liminaires répétées avec une fréquence assez grande ont des effets qui s'ajoutent et peuvent amener l'excitation, mais que durant la période réfrartaire absolue il est impossible d'exciter le nerf et durant la période réfractaire relative ceci est plus difficile, alors là encore la notion de "temps utile" apparaît bien mise en évidence : c'est la "période de sommation" pour le nerf global; pendant les périodes de réfractarité, il y a impossibilité d'exciter le nerf.

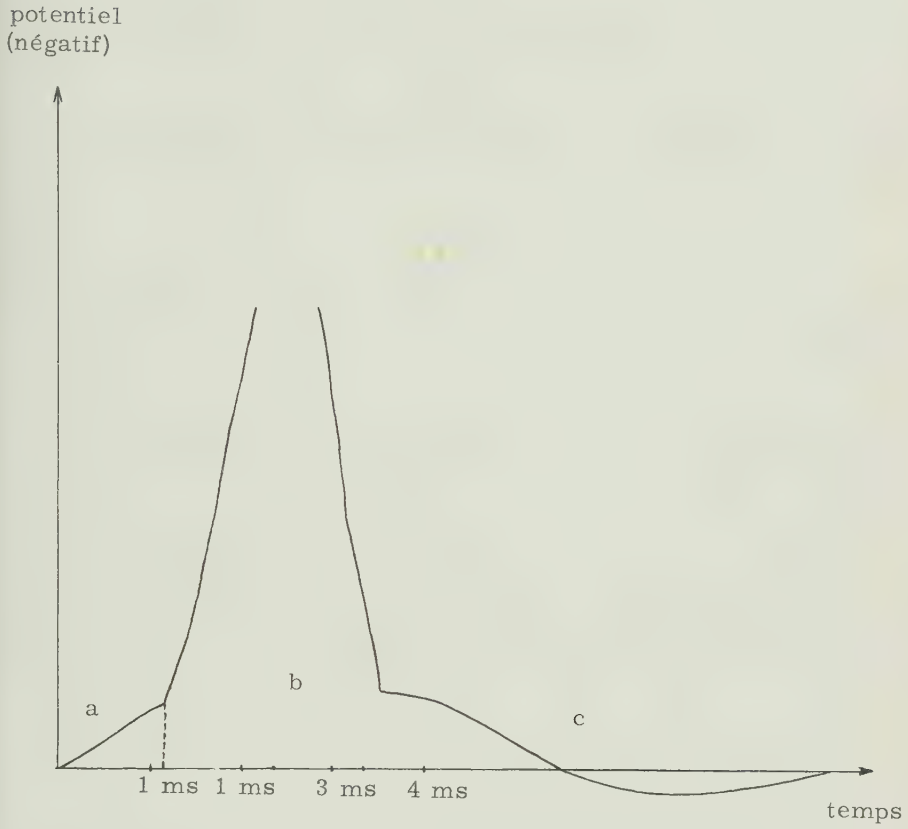
En conséquence, il suffit donc d'interrompre le courant au moment où il est inutile pour obtenir le même résultat excito-moteur, tout en bénéficiant :

- d'une économie de l'agent excitateur,
- et surtout d'une diminution des autres effets, souvent indésirables.

- COURANTS DE MOYENNE FREQUENCE

Certaines fréquences de courant alternatif (quelques milliers à quelques dizaines de milliers de cycles par seconde) que l'on appelle courants de moyenne fréquence, permettent l'obtention de contractions liminaires indolores. En effet, lorsqu'on dépasse le seuil d'excitation musculaire, on atteint assez vite le seuil d'excitation des

Figure 2.



a) - phase de prépotentiel

b) - phase de potentiel propagé,

c) - phase de post-potentiel

nerfs sensitifs de la peau, mais le décalage entre les effets sensitifs et moteurs persiste, et l'action tétanisante est très bien supportée.

En augmentant la densité de courant, on obtient des tétanisations aussi puissantes que les crampes musculaires spontanées; la sensation ressentie est alors très différente de la sensation faradique. Ici encore, on peut régler les trois phases : de contraction progressive, de contraction maximale, de décontraction (et même rythmer les mouvements) grâce à une modulation en amplitude.

Les avantages que procurent les courants de moyenne fréquences sont certains :

- innocuité vis à vis du coeur et de la respiration,

- stimulation des centres nerveux : on peut obtenir des électrochocs avec des fréquences pour lesquelles les résistances apparentes de capacité sont des centaines de fois plus faibles que pour le 50 périodes couramment utilisé.

L'application la plus intéressante semble être la gymnastique provoquée chez les obèses et peut être chez les poliomyélitiques, le côté intéressant de cette thérapeutique étant qu'elle est toujours très bien supportée.

- COURANTS DE MOYENNE FREQUENCE A IMPULSIONS

On vient de voir les avantages que procurent les courants de moyenne fréquence à amplitude modulée.

Cette modulation d'amplitude permet en effet :

- d'économiser l'agent excitateur,

- de diminuer les effets indésirables,

- et surtout de rythmer automatiquement les contractions et décontractions.

Cette modulation peut être :

- une modulation d'amplitude sinusoïdale d'un courant de moyenne fréquence (figure 3).

- une modulation par "tout ou rien" : courant rectangulaire (figure 4) ou courant pulsé (figure 5).

Les travaux faits pour comparer l'action de ces deux derniers courants sur le muscle strié (muscle strié de grenouille) ont donné les résultats suivants :

- à quantité d'électricité égale, le courant pulsé est aussi efficace, et jusqu'à vingt fois plus, que le courant rectangulaire,

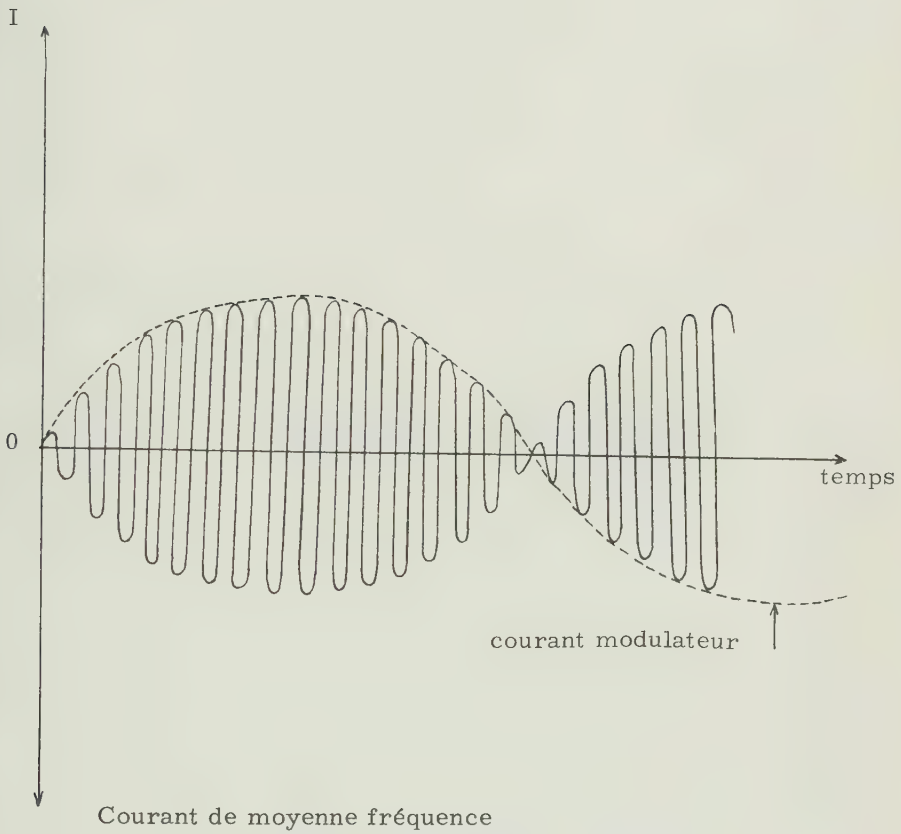
- à tension et par conséquent à intensité égale, l'impulsion est 4 à 10 fois moins dangereuse;

En conclusion, les décharges des condensateurs sont beaucoup plus efficaces tout en étant moins "dangereuses".

L'objet de cette étude va donc être la réalisation d'un appareil pratique permettant l'obtention de courants pulsés de moyenne fréquence.

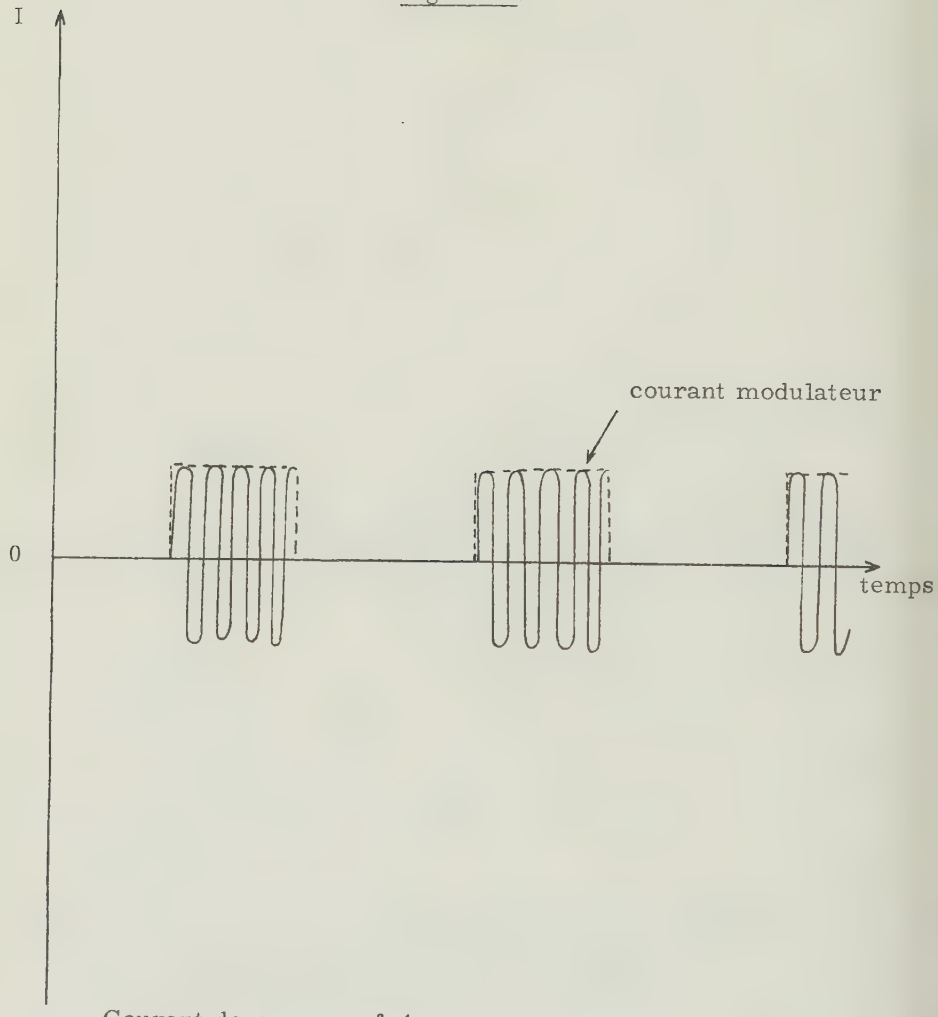
oOo

Figure 3.



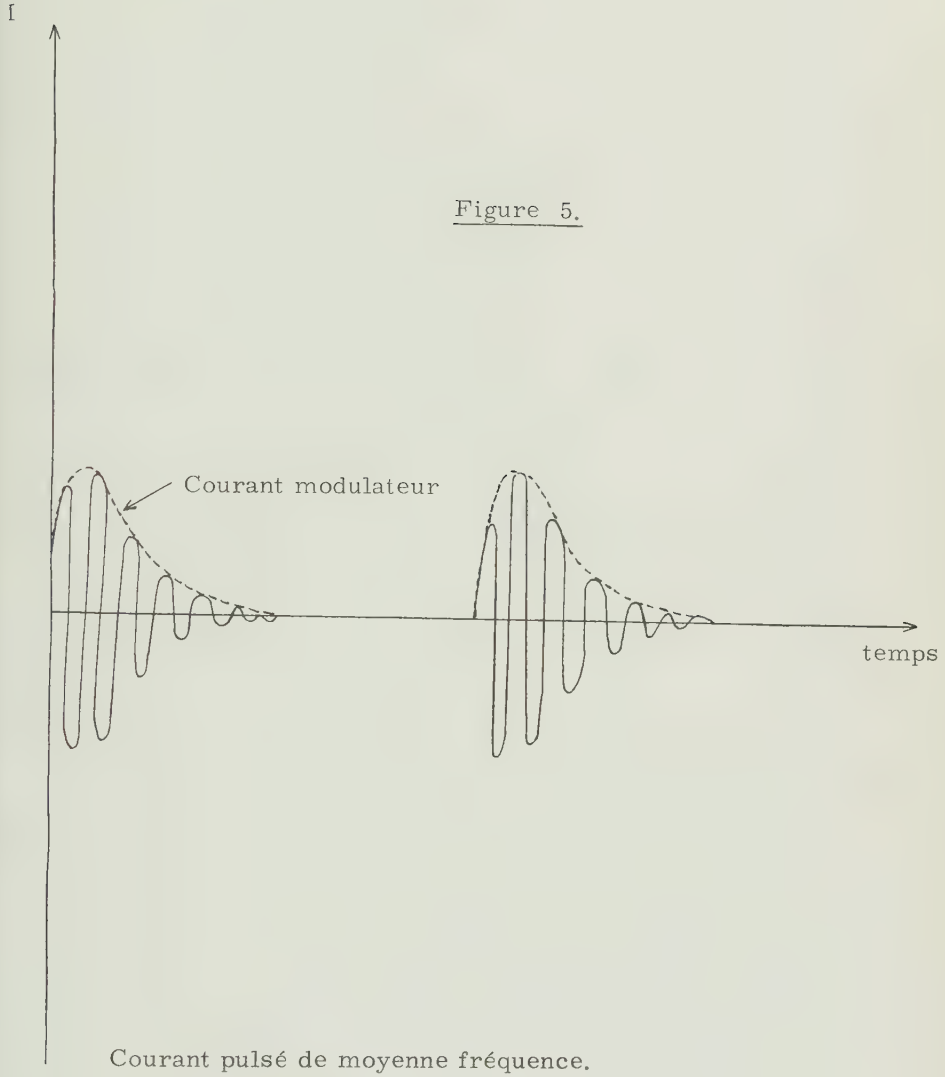
Courant de moyenne fréquence
à modulation sinusoïdale d'amplitude.

Figure 4.



Courant de moyenne fréquence
à modulation rectangulaire d'amplitude.

Figure 5.



Courant pulsé de moyenne fréquence.

Schéma : La durée d'une pulsation est de l'ordre de 1/20e de seconde
L'intervalle entre deux pulsations est de l'ordre de 1 seconde.

DEUXIEME PARTIE

REALISATION D'UN APPAREIL PORTATIF

A TRAINS D'IMPULSIONS

DE MOYENNE FREQUENCE

oooo

Les appareils classiques de production de courants périodiques sont des appareils à lampes électroniques, fragiles et peu maniables.

La technique actuelle des "transistors" vient de permettre la réalisation d'appareils miniaturisés, peu fragiles, très pratiques.

- LE TRANSISTOR

Electriquement, les différents corps se classent en corps conducteurs (des électrons libres sont susceptibles de se déplacer sous l'action d'un champ électrique, en donnant naissance à un courant) et en corps isolants (ne possédant pas d'électrons libres). En réalité, tout corps n'est ni parfaitement conducteur ni parfaitement isolant.

Les semi-conducteurs sont des solides, ni bons conducteurs ni isolants : dans certaines conditions des électrons liés quittant leurs orbites respectives vont donner naissance à un courant. A la température normale, c'est la présence d'impuretés qui engendre les propriétés de semi-conduction.

- semi-conducteur du type P (positif) : les atomes de l'impureté ont tendance à gagner un électron sur le corps "porteur", celui-ci laissant à sa place un "trou" ou image positive de l'électron. Sous l'influence d'un champ électrique, un autre électron vient prendre la place de ce "trou" laissant lui-même une place vide...

On peut considérer que le "trou" s'est déplacé en sens inverse des électrons.

- semi-conducteur du type N (négatif) : les atomes de l'impureté ont tendance à perdre un électron, celui-ci peut se déplacer sous l'action d'un champ électrique et donner naissance à un courant.

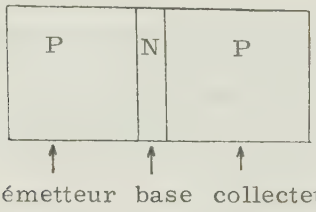
Deux régions P - N en contact constituent "une jonction P - N" Supposons la région P positive par rapport à la région N : les électrons de N sont attirés vers P, les trous de P repoussés vers N; Un courant important peut traverser la jonction, la tension entre P et N, nécessaire à la création du champ électrique est faible :sens direct.

Au contraire, quand la région P est négative par rapport à la région N, les électrons et les trous s'éloignent les uns des autres, laissant la zone de jonction démunie de porteurs de charges.

Cette zone devient isolante, le courant qui la traverse est très faible : sens inverse.

La jonction P - N est une diode.

Un transistor est constitué par deux jonctions P - N en contact suivant les faces N (transistor P - N - P) ou P (transistor N - P - N)



La première électrode est l'émetteur, la seconde la base, la troisième le collecteur.

Si le collecteur d'un P - N - P est polarisé négativement par rapport à la base, un très faible courant s'écoule tant que l'émetteur n'est pas connecté, si ce dernier est polarisé positivement par rapport à la base, un courant émetteur prend naissance, quelques uns des trous injectés par l'émetteur diffusent à travers la base et sont attirés par le collecteur, augmentant ainsi son courant.

La diode formée par le collecteur et la base, étant parcourue en sens inverse, présente une impédance élevée, tandis que la diode émetteur-base, parcourue en sens direct, présente une faible impédance. Le courant circulant dans le circuit à haute impédance peut donc être contrôlé par un courant de valeur voisine, mais circulant dans le circuit à basse impédance de l'émetteur, d'où gain en puissance :le transistor fonctionne comme un amplificateur.

En comparant avec la triode classique :

	Triode	Transistor
Elément de commande	tension	intensité
Résultat obtenu	variation d'intensité	variation de tension

- L'APPAREIL A TRAINS D'ONDES PULSEES

Le schéma de principe de cet appareil est le suivant (figure 6)

- un oscillateur, actionnant :
  . un modulateur,
  . un circuit de production de courants de moyenne fréquence (circuit "courant porteur").

- L'oscillateur :

Les transistors se prêtent remarquablement à la fonction oscillatrice, selon deux processus différents :

- oscillateurs à impédance négative,
- oscillateurs à réaction.

Notre choix s'est porté sur le second type d'oscillateur (choix dû à sa simplicité technique) dont le principe consiste à réinjecter à l'entrée d'un amplificateur une partie de la puissance de sortie, suivant le schéma de la figure 7.

Dans notre montage (figure 8), le courant ib est amplifié par le transistor monté en émetteur à la masse. Par l'intermédiaire du transformateur, une partie du courant collecteur est réinjectée à la base.

- Etude mathématique élémentaire :

Le schéma (dit "schéma équivalent") de la figure 9 montre les deux circuits composant l'oscillateur à réaction :

- le circuit oscillant composé du condensateur de capacité C, en série avec la self L_1, on sait que dans un tel circuit peuvent exister des oscillations de fréquence angulaire $\omega = \frac{1}{\sqrt{L_1 C}}$.

Mais la résistance R_1 du circuit (composée de la résistance r_1 de la self, de la résistance r_e émetteur-base) entraîne des pertes calorifiques (effet Joule) d'ou un amortissement qu'il est nécessaire de

Figure 6.

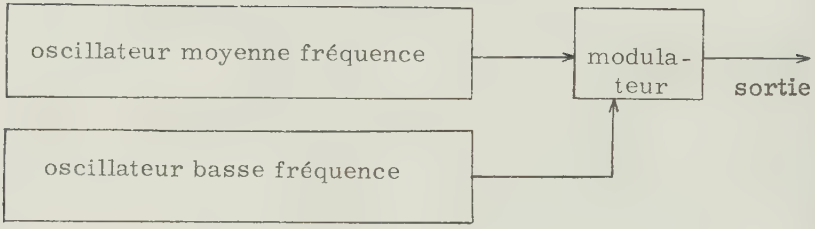
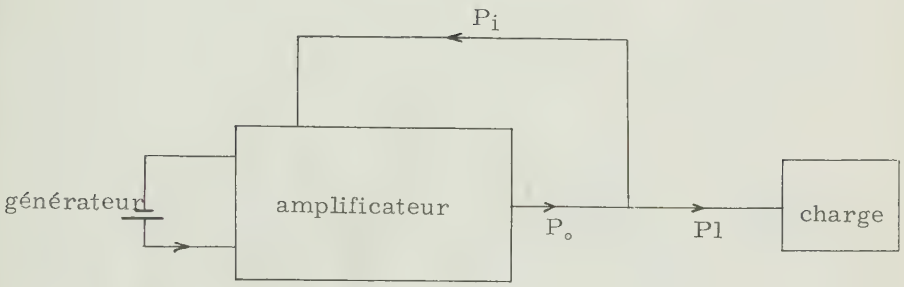

oscillateur moyenne fréquence
oscillateur basse fréquence
modula-
teur
sortie

Figure 7

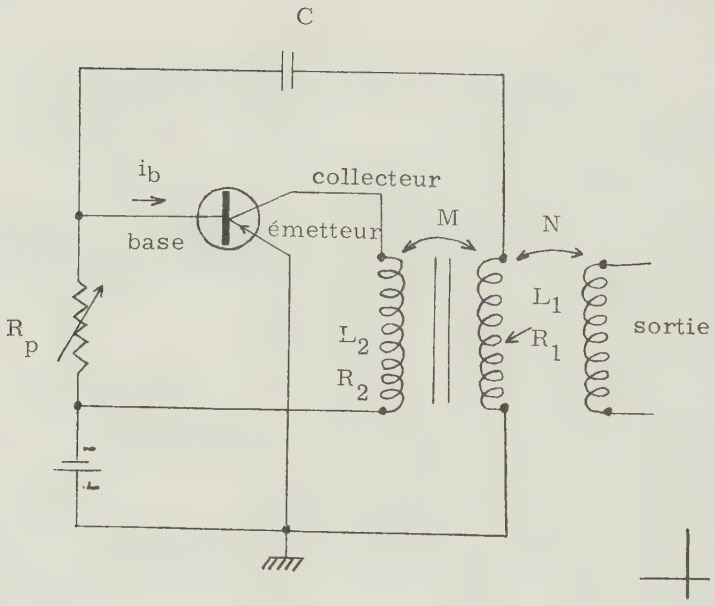


G, gain de l'amplificateur.

$$P_o = G \; P_i$$

$$Pl = P_o - P_i = P_o \left(\frac{G - 1}{G} \right)$$

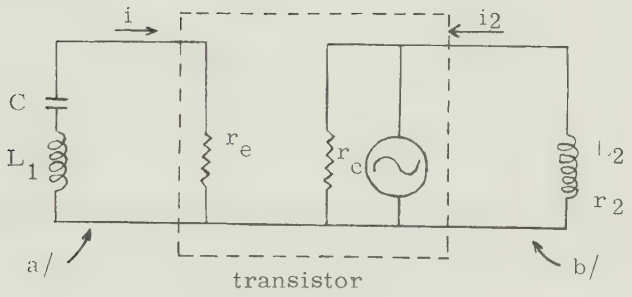
Figure 8.



R_p résistance (variable) de polarisation

Figure 9.

Schéma équivalent



a/ circuit oscillant

b/ circuit d'entretien

L_1 et L_2 sont couplées (coefficient d'introduction M).

compenser, l'"entretien" est réalisé par un couplace inductif (coefficient d'induction M) avec une self L_2 parcourue par le courant d'intensité i_c.

Soit V_1 la tension entre l'émetteur et la base, nous avons :

$$(1) \quad V_1 = - L_1 \frac{di}{dt} - M \frac{dic}{dt} - \frac{q}{C} - r_1 i$$

q : quantité de courant dans le condensateur à l'instant t.

Nous savons que, dans le transistor :

$$(2) \quad \frac{dV_1}{dt} = r_e \frac{di}{dt}$$

- Le circuit d'entretien alimentant la self L_2, le transistor jour ici le rôle d'un générateur "commandé" par le circuit oscillant sur lequel il envoie une réaction.

La tension V_2 entre le collecteur et la base vaut :

$$(3) \quad V_2 = - L_2 \frac{di_c}{dt} - r_2 i_c + M \frac{di}{dt}$$

r_2 = résistance du circuit d'entretien extérieur au transistor.

La seconde équation du transistor s'écrit :

$$(4) \quad di_c = \frac{1}{s} d V_1 + \frac{1}{r_c} d V_2$$

s, r_c = résistances internes du transistor.

A une variation de V_1 correspond une variation de ic : (4) exprime bien la fonction amplificatrice du transistor.

De (1) et (2) on tire (5) :

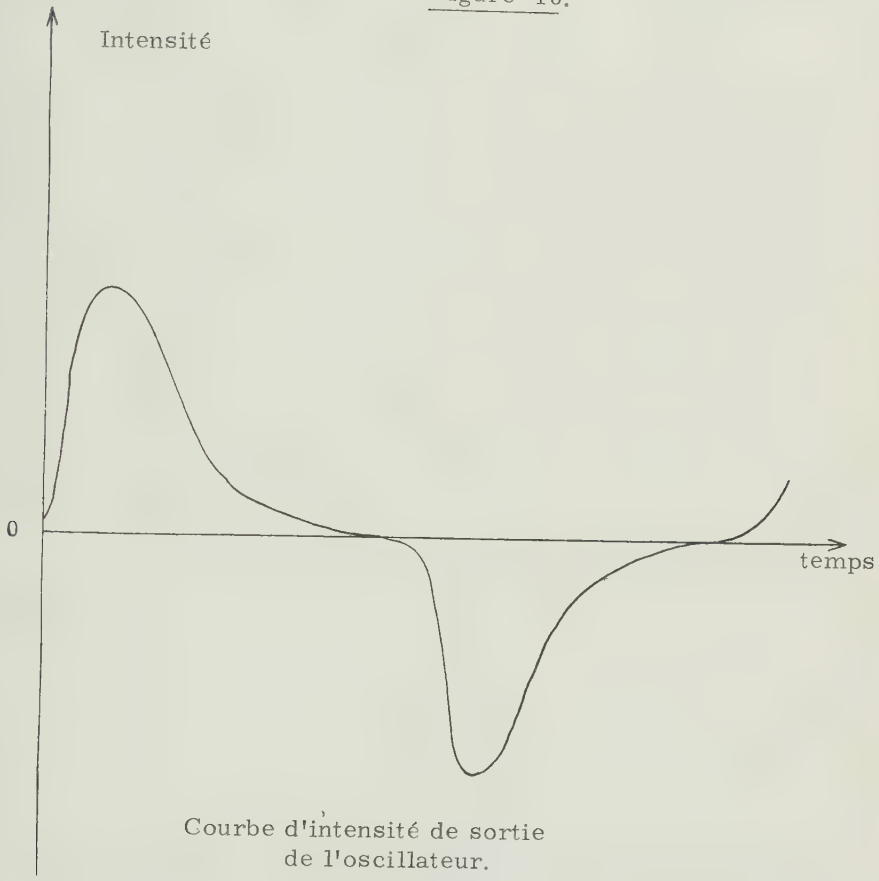
$$(5) \quad L_1 \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{di}{dt} R_1 + \frac{i}{c} + M \frac{d^2 i_c}{dt^2} = 0$$

en remplaçant $r_c + r_1 = R_1$

De (3) et (4), on tire : (en remplaçant $r_2 + r_c = R_2$) résistance totale du circuit d'entretien :

$$(6) \quad L_2 \frac{d^2 ic}{dt^2} + R_2 \frac{di_c}{dt} - \frac{r_c \; r_e}{s} \frac{di}{dt} + M \frac{d^2 i}{dt^2} = 0$$

Figure 10.



Courbe d'intensité de sortie
de l'oscillateur.

On tire $\frac{d^2 i_c}{dt^2}$ de (6), on porte dans (5), en dérivant l'équation obtenue et en y portant $\frac{d^2 i_c}{dt^2}$ tiré de (5), il vient :

$$\frac{(L_1 \cdot L_2 - M^2)}{R_2} \frac{d^3 i}{dt^3} + (L_1 + L_2 - \frac{R_1}{R_2} - \frac{r_c r_e M}{s L_2 R_2} \frac{di^2}{dt^2}$$

$$+ (\frac{1}{c} + R_1) \frac{di}{dt} + \frac{i}{c} = 0$$

équation différentielle à l'inconue i (t).

Cette équation admet des solutions périodiques de période ω si l'on a :

$$\frac{L_1 \cdot L_2 - M^2}{R_2} \cdot - \omega^2 = \frac{1}{C} + R_1$$

$$2 (L_1 + L_2 \frac{R_1}{R_2} - \frac{r_c r_e M}{s L_2 R_2}) \omega^2 = \frac{1}{C}$$

donc :

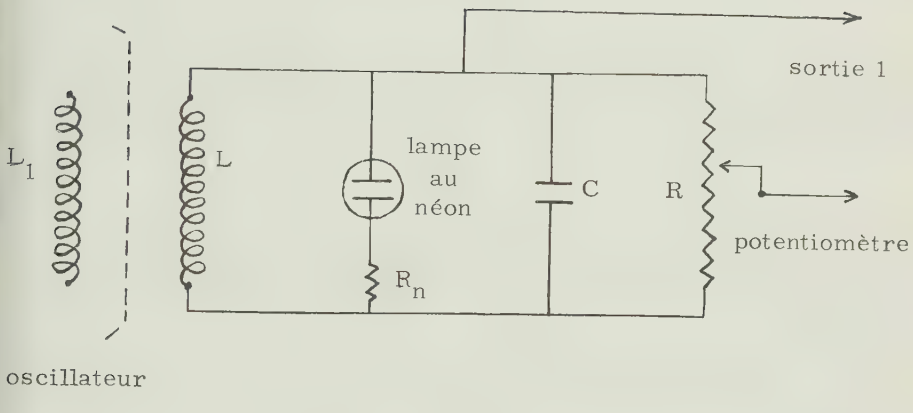
$$\frac{L_1 \cdot L_2 - M^2}{R_2 L_1 + R_1 L_2 - \frac{r_e r_c M}{s L_2}} = 1 + R_1 C$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C (L_1 + L_2 \frac{R_1}{R_2} - \frac{r_e r_c M}{s L_2 R_2})}}$$

Si M est choisi assez grand, pour que ω^2 devienne négatif, il n'y a plus d'oscillations périodiques, mais des oscillations d'amplitude devenant infinie avec le temps, ce qui n'a pas de sens physique; en réalité certains phénomènes secondaires, négligés jusqu'ici, deviennent alors prépondérants et limitent automatiquement l'amplitude, nous obtenons bien des oscillations entretenues.

On remarque d'autre part que ω est fonction de la résistance R_1 du circuit oscillant, une résistance R_1 variable permettra donc le réglage de la période des oscillations, et (comme on le verra) par suite celle des pulsations. On obtient un courant donc l'intensité est représentée figure 10.

Figure 11.



Il semblerait nécessaire, dans l'appareil envisagé, qu'il y ait deux oscillateurs :

- l'un produisant le courant porteur de moyenne fréquence,

- l'autre modulant ce courant porteur par des pulsations à très basse fréquence.

Le circuit de multiplication de fréquence : production du courant de moyenne fréquence.

On utilise un seul oscillateur, produisant un courant de basse fréquence. La multiplication de fréquence s'opère par l'intermédiaire de la décharge d'un condensateur dans une lampe au néon.

Le couplage aux selfs L_1 et L_2 précédentes par une self L permet l'alimentation d'un circuit oscillant composé de cette self L, d'un condensateur C, d'une résistance R très grande et d'une lampe au néon avec résistance R_n en série (figure 11).

On sait que dans une lampe au néon :

- si la tension aux bornes est inférieure à une tension V_o dite "d'allumage", la résistance est infinie, il n'y a pas passage du courant.

- lorsque la tension atteint la tension d'allumage, il y a ionisation du gaz, la résistance devient finie, et il y a passage du courant.

- soit V la tension

Aux bornes du condensateur, nous avons pour $V < V_o$:

$$V = L \frac{d\,is}{dt} + N \frac{di_o}{dt}$$

is : intensité du courant dans la self s

$$V = - R\, i_r$$

i_o : intensité du courant imposé de l'oscillateur

$$ic = i_s + i_r$$

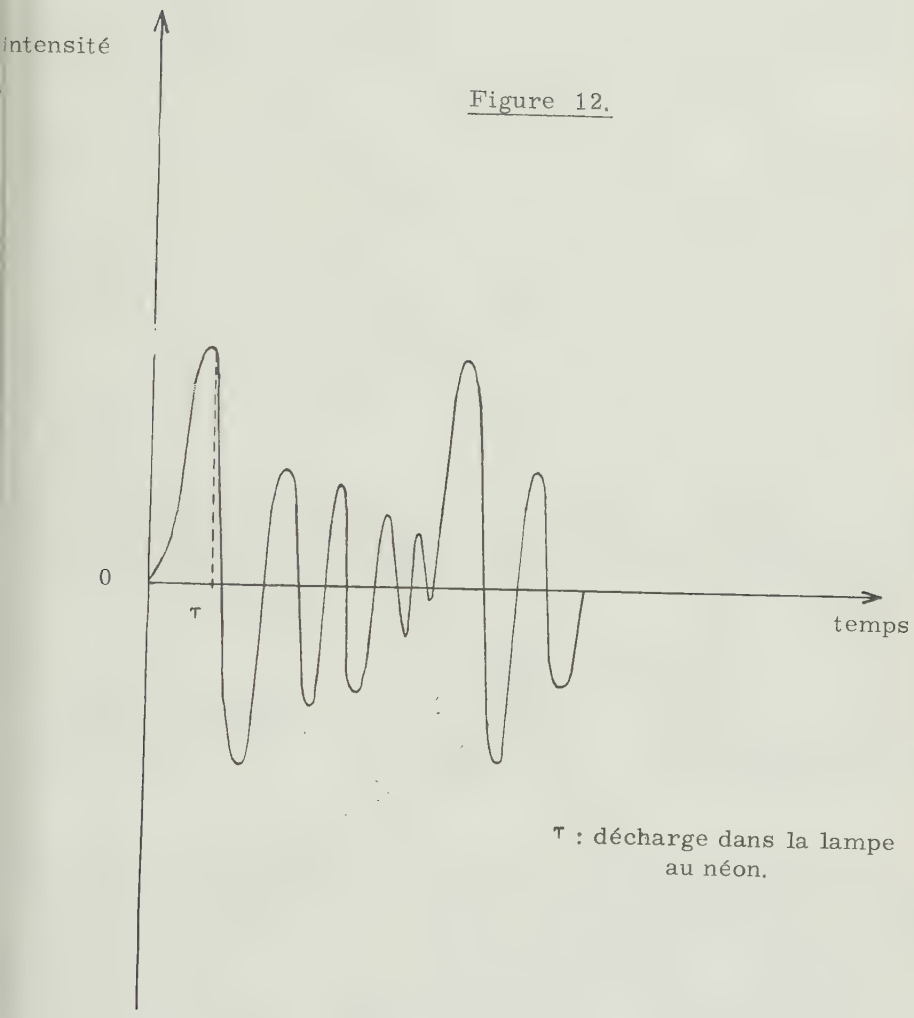
i_r : intensité du courant dans la résistance

$$V = \frac{qc}{C}$$

qc : charge du condensateur.

A la tension d'allumage V_o correspond donc une charge q_o d'allumage. Supposons que la quantité totale d'électricité induite par l'oscillateur dans L pendant une alternance soit supérieure à q_o.

Figure 12.



τ : décharge dans la lampe au néon.

Au début d'une alternance tant que $q < q_o$, le condensateur se charge (circuit soumis à l'oscillation forcée de l'oscillateur). Pour $q = q_o$, la tension d'allumage est atteinte, il y a décharge oscillante du condensateur à travers la lampe au néon. Si la résistance R_n a été choisie de manière que la fréquence de la décharge oscillante soit voisine de la fréquence de résonnance du circuit (L, C), (fréquence angulaire de résonnance égale à $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ cette décharge n'est pas amortie, on peut ainsi obtenir un courant de fréquence désirée, ici un courant de moyenne fréquence.

Quant à la résistance R installée en parallèle, elle a deux buts :

- d'une part, elle permet l'amortissement des oscillations avant la fin d'une alternance du courant "primaire".

- d'autre part, elle permet, en temps que potentiomètre, de régler l'amplitude du courant de sortie.

Elle est en tout cas nécessairement très grande, pour permettre une charge du condensateur et par suite l'établissement du courant de moyenne fréquence, très rapide. L'étude de l'intensité du courant recueilli, par rapport au temps conduit à l'établissement de la figure 12.

- Le circuit "modulateur d'amplitude"

Ce circuit a pour but l'établissement d'un courant composé de "trains d'impulsions". On sait que le courant produit par l'oscillateur est très proche d'un courant pulsé mais :

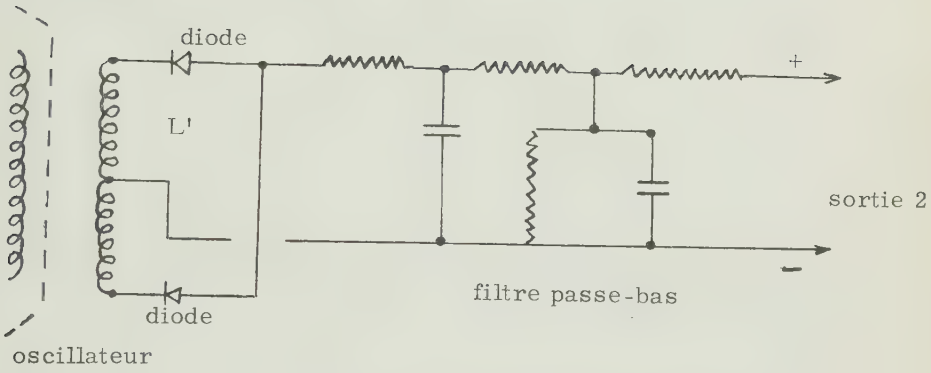
- d'une part, il est alternatif, d'où un redresseur,

- d'autre part, il y a réaction du circuit de sortie "moyenne fréquence" sur l'oscillateur par l'intermédiaire du couplage inductif, d'où la nécessité d'un filtrage des moyennes fréquences qui pourraient s'établir. L'alimentation de ce circuit 'figure 13) est assurée par le couplage d'une self L' aux selfs L_1 et L_2, deux diodes en germanium ("jonction P - N") redressent les deux alternances, le retour du courant s'effectuant par un fil connecté au point milieu de la self L'.

Le filtrage des moyennes et hautes fréquences est assuré par un "filtre passe-bas".

Un filtre électrique est un circuit passif qui permet de séparer des courants alternatifs de fréquences différentes, en laissant passer certains d'entre eux et en arrêtant certains autres, les filtres passe-bas laissent seulement passer les courants de fréquence inférieure à une certaine fréquence, dite de coupure.

Figure 13.



Pour constituer un filtre passe-bas, on utilise la propriété qu'ont les capacités opposant une impédance d'autant plus faible aux courants que la fréquence est élevée : il suffit de disposer un certain nombre de capacités en parallèle pour éliminer les courants parasites.

On obtient finalement un courant qui correspond à la figure 14.

- La sortie :

En superposant les courants produits par les deux circuits, on obtient le courant pulsé de moyenne fréquence cherché. Cette superposition se fait à l'aide de 2 condensateurs A et B (voir figure 15) pour éviter l'introduction du courant continu "modulateur" dans le circuit "courant de moyenne fréquence". On obtient finalement un courant correspondant à la figure 16.

La figure 17 représente le schéma général de l'appareil.

- LA LIAISON APPAREIL- PATIENT

La liaison avec le patient se réalise par l'intermédiaire de deux électrodes gainées dans un tissu spécial spongieux. Cette gaine recouvre en totalité la plaque car le métal-étain ne doit pas être en contact avec l'épiderme.

Au cours du traitement, on maintient l'électrode gainée au contact de la surface cutanée à l'aide d'une fixation serrée. Mais au préalable, pour assurer une bonne continuité, on trempe le tissu dans de l'eau salée afin d'appliquer des surfaces nettement humidifiées sur la peau.

Après usage, on doit soigneusement laver au savon ou avec un détergent et sécher en séparant la gaine de la plaque d'étain.

oOo

Figure 14.

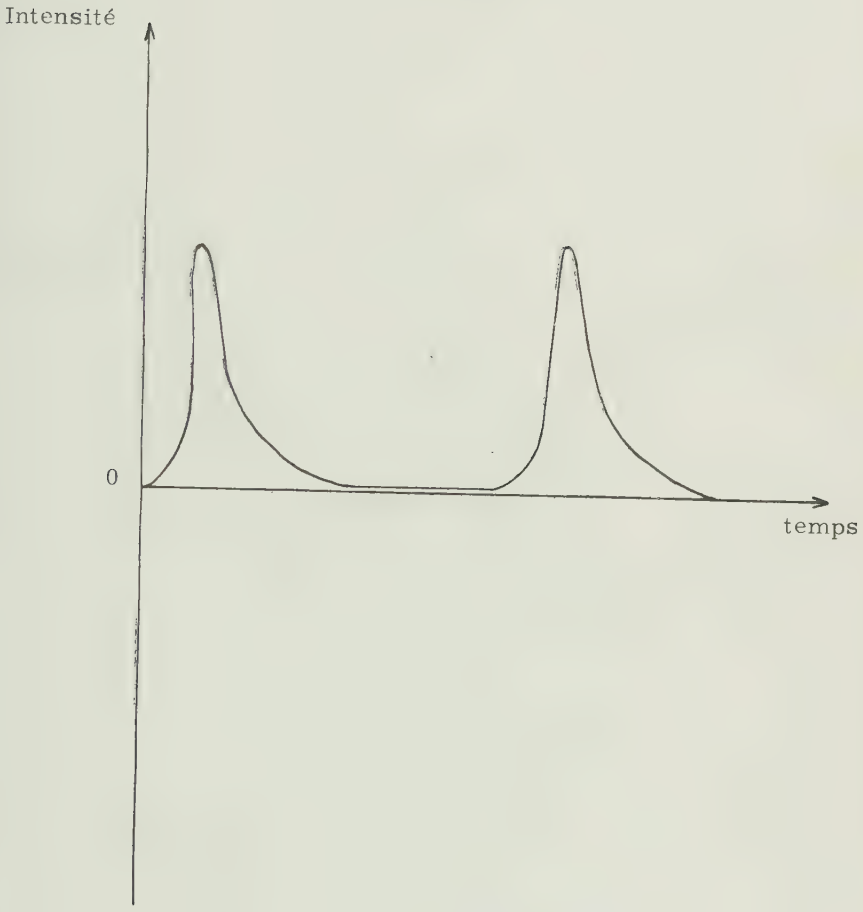


Figure 15.

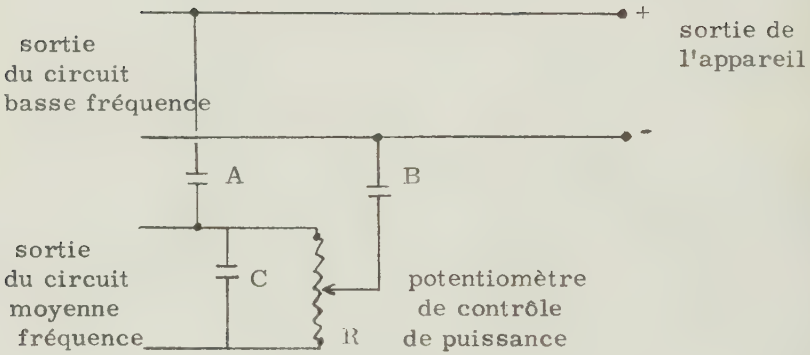
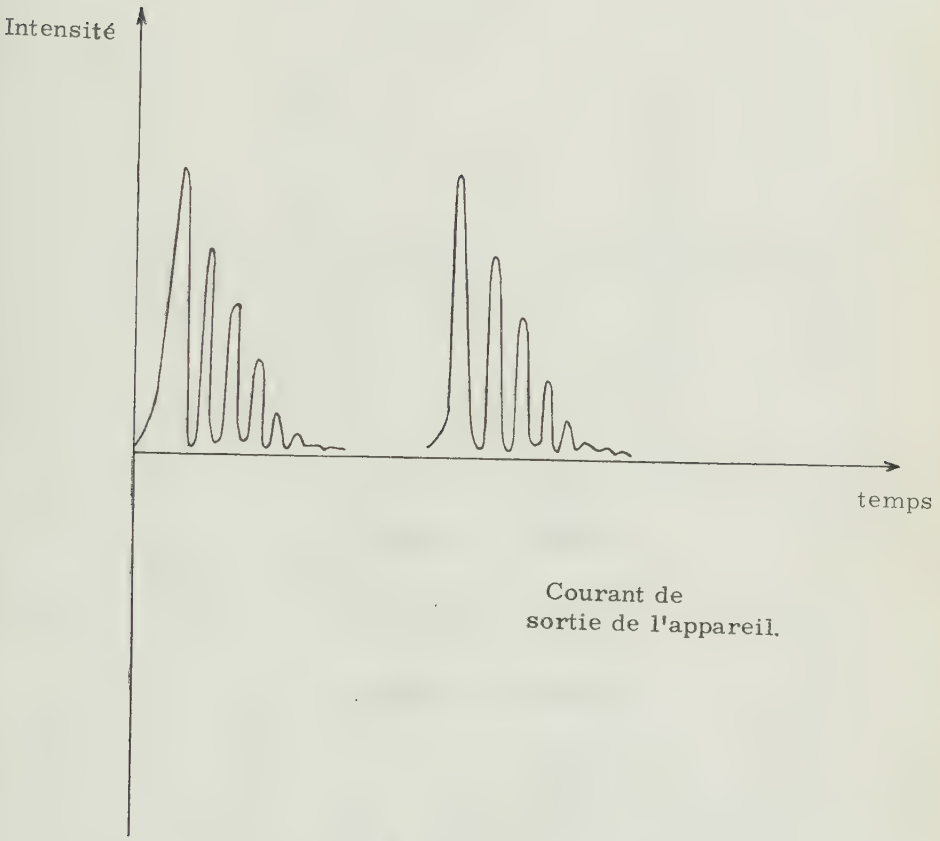

+
sortie de
l'appareil
sortie
du circuit
basse fréquence
-
A
B
sortie
du circuit
moyenne
fréquence
C
R
potentiomètre
de contrôle
de puissance

Figure 16.



Courant de
sortie de l'appareil.

Figure 17.

Circuit basse fréquence
diodes
sortie
+
-
B
A
C
P_p
L'
L
lampe au néon
R_N
transformateur
Circuit moyenne fréquence.
P_p = potentiomètre de réglage de puissance.
L_1
L_2
transistor de puissance
c
b
c
P_f
18 v
+
-
Oscillateur.
P_f = potentiomètre de réglage des pulsations.

CONCLUSIONS

Le but de ce travail était de définir avec précision comment se présente un appareil caractérisé par des courants de moyenne fréquence pulsés et si un tel appareil pouvait être réalisé dans la pratique pour des fins thérapeutiques.

Nous avons tout d'abord, analysé les courants de moyenne fréquence, dans le cadre de la biologie.

Disposant d'un appareil répondant à de telles normes, nous en avons recherché les paramètres essentiels, qui se révèlent être

- 5000 périodes environ,
- courant sinusoïdal
- pulsé
- portatif, donc pratiquement à transistors.

Il s'agit donc d'un appareil satisfaisant aux conditions sollicitées.

Reste à établir l'intérêt d'un tel matériel en thérapeutique. Une expérimentation pratique a été effectuée, mais le nombre de cas étudiés, quoique semblant justifier l'utilisation de l'appareillage, ne permet pas de conclure, avec assez de certitude, pour que nous puissions chiffrer sa valeur objective.

oOo

Vu le Président de Thèse

Professeur DJOURNO

Vu le Président de Thèse

Professeur G. CORDIER

Vu et Permis d'imprimer

Le Recteur de l'Académie de Paris

J. ROCHE

BIBLIOGRAPHIE

1 - BIBLIOGRAPHIE CONSULTEE

D'ARSONVAL :-

- Action physiologique du courant alternatif,
  C.R. Soc. Biol. 1891, 2 mai, p.283

DJOURNO A. -

- Excitation des muscles chez l'homme par des courants alternatifs sinusoïdaux de fréquence moyenne.
  Soc. Biol. 14-5-1949, T. 143, p.621

- A propos de l'excitation des muscles chez l'homme par les courants de haute fréquence.
  Journ. Elect. Radio. T. 31, n° 1-2, 1950, p.62

- Sur quelques propriétés des courants de moyenne fréquence supraliminaires.
  C.R. Soc. Biol. 24-6-1950 T. CXLV, p.824

- A propos des courants tétanisants de moyenne fréquence
  Journ. Elect. Radiol. T.32, 1-2-1951, p.70

- Sur quelques singularités de la contraction musculaire en courant tétanisant de moyenne fréquence.
  Soc. Biol. 22-3-1952

GOUDAT -

Electronique industrielle.
Eyrolles, Paris 1957

HEITZ F. -

Les courants de moyenne fréquence.
Thèse Fac. Med. Paris, 1951, n°225

LAPICQUE -

L'excitabilité en fonction du temps.
Presse Univers. Franç. Paris 1926

LAPICQUE -

M. et Mme - l'addition latente et ses rapports avec le paramètre chronologique de l'excitabilité.
Cpte rend. Ac. Sc. Cl. 796-1910.

Sur la thérie de l'addition latente.

STROHL -

Etude de la conductibilité électrique du corps humain par des courants de courte durée.
Arch. Phys. Biol. 10.1.22

Contribution à l'étude physique de la conductibilité électrique des organismes vivants.
Thèse Sci. Paris 1924

STROHL et DESGREZ H. -

Contribution à l'étude des variations de la résistance initiale du corps humain.
Journ. Elec. Rad. T. 15, n°7, Juillet 1931

STROHL et DJOURNO A -

Etude expérimentale sur les phénomènes électriques de la peau des batraciens.
Journ. Phys. et Path. gen. T. 36, n°1, Mars 1938

Précis de Physique Médicale,
Masson, Paris 1957

GUIHARD R. -

Action de la modulation d'amplitude des courants de moyenne fréquence dans les excitations neuro-musculaires.
Thèse Fac. Med. Paris 1958

II - BIBLIOGRAPHIE GENERALE

- Neurophysiology American Physiological Society, New-York 1959

MALMEJAC - Physiologie, Flammarion 1962

HOUSSAY B.A. - Physiologie humaine, Flammarion, 1950

FABRE et ROUGIER - Physiologie médicale, Maloine Paris 1961

SOULAS - Précis de physiologie, Masson Edit. Paris 1947

HEDON - Précis de Physiologie. Doin Paris 1950

GLEY - Physiologie. Baillière Edit. 1951

ROCARD - Dynamique générale des vibrations. Masson Paris 1949

oOo

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

PREMIERE - PARTIE : Courants de moyenne fréquence en biologie.

1 - Historique,

2 - Etude de la réponse électrique du nerf aux stimulations,

3 - Courants de moyenne fréquence,

4 - Courants de moyenne fréquence à impulsions.

DEUXIEME - PARTIE : Réalisation d'un appareil portatif à trains d'impulsions de moyenne fréquence.

1 - Le transistor,

2 - L'appareil à trains d'ondes pulsées,

3 - L'étude mathématique élémentaire.

CONCLUSIONS

BIBLIOGRAPHIE

oOo

EDITIONS A.G.E.M.P.
8 RUE DANTE
- PARIS V^e -